

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G02B 6/26 (2006.01)

H04J 14/02 (2006.01)



# [12] 发明专利说明书

专利号 ZL 03128497.3

[45] 授权公告日 2007 年 4 月 25 日

[11] 授权公告号 CN 1312500C

[22] 申请日 2003.4.29 [21] 申请号 03128497.3

[30] 优先权

[32] 2002. 5. 3 [33] US [31] 10/138,470

[73] 专利权人 奥普林克通信公司

地址 美国加利福尼亚

[72] 发明人 李伟中 郭庆东

[56] 参考文献

US5082343A 1992. 1. 21

US6181850B1 2001. 1. 30

US5555330A 1996. 9. 10

US6374017B1 2002. 4. 16

JP8 - 75948A 1996. 3. 22

CN1327543A 2001. 12. 19

审查员 裴素英

[74] 专利代理机构 中国国际贸易促进委员会专利

商标事务所

代理人 李德山

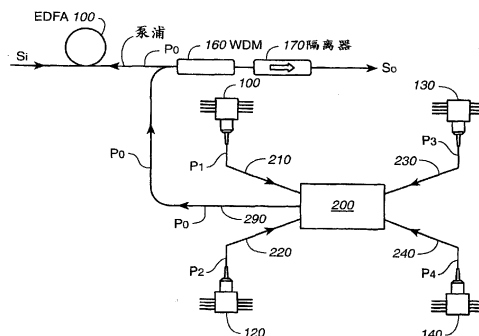
权利要求书 5 页 说明书 12 页 附图 10 页

[54] 发明名称

4 端口光混合器和产生混合泵浦光的方法

[57] 摘要

4 端口光混合器包含非互易性混合器件，双折射楔片混合器，光学耦合在非互易性混合器件和双折射楔片混合器之间的波分复用滤波器。



1.一种4端口光混合器，包括：

具有主方向和逆主方向的非互易性混合器件，包含

(a)具有垂直于主方向的第一光轴的第一双折射楔片，

(b)具有垂直于主方向的第二光轴的第二双折射楔片，第二光轴与第一光轴形成第一角度，和

(c)在第一和第二双折射楔片之间光学耦合并且适于将穿过其中的光的偏振旋转第二角度的非互易性旋转元件；

双折射楔片混合器；和

光学耦合在非互易性混合器件和双折射楔片混合器之间的波分复用滤波器。

2.如权利要求1所述的4端口光混合器，其中双折射楔片混合器包含：

具有第三光轴的第三双折射楔片；和

具有基本垂直于第三光轴的第四光轴的第四双折射楔片。

3.如权利要求2所述的4端口光混合器，还包括

光学耦合到第一双折射楔片的第一透镜；和

光学耦合到双折射楔片混合器的第二透镜。

4.如权利要求3所述的4端口光混合器，其中

第一透镜可构造成耦合单模光纤、第一PM光纤和第二PM光纤；

和

第二透镜可构造成耦合第三PM光纤和第四PM光纤。

5.如权利要求4所述的4端口光混合器，其中单模光纤、第一PM光纤和第二PM光纤的位置接近第一透镜。

6.如权利要求4所述的4端口光混合器，还包括保持接近第一透镜的单模光纤、第一PM光纤和第二PM光纤的毛细管。

7.如权利要求4所述的4端口光混合器，其中第三PM光纤和第四PM光纤的位置接近第二透镜。

8.如权利要求4所述的4端口光混合器，还包括保持接近第二透镜的第三PM光纤和第四PM光纤的毛细管。

9.如权利要求4所述的4端口光混合器，其中第一透镜适于引导从第一PM光纤接收的光沿着第一输入方向以第一偏振进入非互易性混合器件，

从第二PM光纤接收的光沿着第二输入方向以第二偏振进入非互易性混合器件，和

沿着逆主方向从非互易性混合器件接收的光进入单模光纤。

10.如权利要求4所述的4端口光混合器，其中第二透镜适于引导从第三PM光纤接收的光进入双折射楔片混合器；和从第四PM光纤接收的光进入双折射楔片混合器。

11.如权利要求1所述的4端口光混合器，其中第一角度基本为45度，并且第二角度基本为45度。

12.如权利要求1所述的4端口光混合器，其中非互易性旋转元件是Faraday旋转片。

13.一种4端口光混合器，包括：

具有主方向和逆主方向的非互易性混合器件，包含第一双折射楔片、第二双折射楔片和非互易性旋转元件，非互易性混合器件被构造成为至少允许

(1)作为第一输入方向的非寻常光进入第一双折射楔片的光作为主方向的寻常光从第二双折射楔片退出，

(2)作为第二输入方向的寻常光进入第一双折射楔片的光作为主方向的非寻常光从第二双折射楔片退出，

(3)作为逆主方向的非寻常光进入第二双折射楔片的光作为逆主方向的非寻常光从第一双折射楔片退出，和

(4)作为逆主方向的寻常光进入第二双折射楔片的光作为逆主方向的寻常光从第一双折射楔片退出；

双折射楔片混合器；和

光学耦合在非互易性混合器件和双折射楔片混合器之间的波分

复用滤波器。

14.如权利要求13所述的4端口光混合器，其中双折射楔片混合器包含：

具有第三光轴的第三双折射楔片；和

具有基本垂直于第三光轴的第四光轴的第四双折射楔片。

15.如权利要求14所述的4端口光混合器，还包括

光学耦合到第一双折射楔片的第一透镜；和

光学耦合到双折射楔片混合器的第二透镜。

16.如权利要求15所述的4端口光混合器，其中

第一透镜可构造成耦合单模光纤、第一PM光纤和第二PM光纤；

和

第二透镜可构造成耦合第三PM光纤和第四PM光纤。

17.如权利要求16所述的4端口光混合器，其中单模光纤、第一PM光纤和第二PM光纤的位置接近第一透镜。

18.如权利要求16所述的4端口光混合器，还包括保持接近第一透镜的单模光纤、第一PM光纤和第二PM光纤的毛细管。

19.如权利要求16所述的4端口光混合器，其中第三PM光纤和第四PM光纤的位置接近第二透镜。

20.如权利要求16所述的4端口光混合器，还包括保持接近第二透镜的第三PM光纤和第四PM光纤的毛细管。

21.如权利要求16所述的4端口光混合器，其中第一透镜适于引导从第一PM光纤接收的光沿着第一输入方向以第一偏振进入非互易性混合器件，

从第二PM光纤接收的光沿着第二输入方向以第二偏振进入非互易性混合器件，和

沿着逆主方向从非互易性混合器件接收的光进入单模光纤。

22.如权利要求16所述的4端口光混合器，其中第二透镜适于引导从第三PM光纤接收的光进入双折射楔片混合器；和

从第四PM光纤接收的光进入双折射楔片混合器。

23.如权利要求13所述的4端口光混合器，其中非互易性旋转元件是Faraday旋转片。

24.根据第一泵浦光、第二泵浦光、第三泵浦光和第四泵浦光产生混合泵浦光的方法，该方法包括：

提供双折射楔片混合器和具有主方向和逆主方向的非互易性混合器件；

引导第一泵浦光沿着第一输入方向进入非互易性混合器件，并且作为第一中间泵浦光沿着主方向从非互易性混合器件退出；

反射第一中间泵浦光以便沿着逆主方向穿过非互易性混合器件，以作为混合泵浦光的第一偏振分量；

引导第二泵浦光沿着第二输入方向进入非互易性混合器件，并且作为第二中间泵浦光沿着主方向从非互易性混合器件退出；

反射第二中间泵浦光以便沿着逆主方向穿过非互易性混合器件，以作为混合泵浦光的第二偏振分量；

引导第三泵浦光作为非寻常光进入双折射楔片混合器，并且沿着逆主方向作为第三中间泵浦光退出双折射楔片混合器；

引导第三中间泵浦光沿着逆主方向穿过非互易性混合器件，以作为混合泵浦光的第三偏振分量；

引导第四泵浦光作为寻常光进入双折射楔片混合器，并且沿着逆主方向作为第四中间泵浦光退出双折射楔片混合器；

引导第四中间泵浦光沿着逆主方向穿过非互易性混合器件，以作为混合泵浦光的第四偏振分量；和

混合第一偏振分量、第二偏振分量、第三偏振分量和第四偏振分量以产生混合泵浦光。

25.如权利要求24所述的方法，其中反射第一中间泵浦光的步骤包含通过波分复用滤波器反射第一中间泵浦光。

26.如权利要求24所述的方法，其中反射第二中间泵浦光的步骤包含通过波分复用滤波器反射第二中间泵浦光。

27.如权利要求24所述的方法，其中引导第一泵浦光的步骤包含引

导第一泵浦光沿着第一输入方向作为非寻常光进入非互易性混合器件，而引导第二泵浦光的步骤包含引导第二泵浦光沿着第二输入方向作为寻常光进入非互易性混合器件。

28.如权利要求27所述的方法，其中引导第三泵浦光的步骤包含引导第三泵浦光作为非寻常光进入双折射楔片混合器，而引导第四泵浦光的步骤包含引导第四泵浦光作为寻常光进入双折射楔片混合器。

## 4端口光混合器和产生混合泵浦光的方法

### 技术领域

本发明涉及光学技术。

### 背景技术

光纤放大器通常在通信系统中使用。光纤放大器的例子包含掺铒光纤放大器("EDFA")和其它类型的掺稀土元素光纤放大器。这些光纤放大器通常由发光二极管("LED")或激光器泵浦(pump)。图1图解了由4个偏振光源,例如4个泵浦激光器110、120、130和140光学泵浦的EDFA 100。从泵浦激光器110接收的第一泵浦光P1和从泵浦激光器120接收的第二泵浦光P2被偏振保持("PM")混合器152混合成泵浦光P12。从泵浦激光器130接收的第三泵浦光P3和从泵浦激光器140接收的第四泵浦光P4被PM混合器154混合成泵浦光P34。从PM混合器152接收的泵浦光P12和从PM混合器154接收的泵浦光P34被波分复用("WDM")混合器156混合成泵浦光P0。混合的泵浦光P0通过WDM耦合器160被耦合到EDFA 100。输入光学信号Si被光学耦合到EDFA 100,并且沿着与泵浦光P0的行进方向相反的方向行进。输入光学信号Si在EDFA 100中得到放大,穿过WDM耦合器160和隔离器170,并且变成输出光So。

### 发明内容

在一个方面,本发明提供了4端口光混合器,4端口光混合器包含非互易性(non-reciprocal)混合器件,双折射楔片(birefringent-wedge)混合器,光学耦合在非互易性混合器件和双折射楔片混合器之间的波分复用滤波器。

在另一方面,本发明提供了4端口光混合器,4端口光混合器包含非互易性混合器件,双折射楔片混合器,光学耦合在非互易性混合器件和双折射楔片混合器之间的波分复用滤波器。非互易性混合器件具

有主方向和逆主方向。非互易性混合器件包含第一双折射楔片，第二双折射楔片和非互易性旋转元件。第一双折射楔片具有垂直于主方向的第一光轴。第二双折射楔片具有垂直于主方向的第二光轴，第二光轴与第一光轴形成第一角度。非互易性旋转元件光学耦合在第一和第二双折射楔片之间。非互易性旋转元件是一种光学器件，将穿过该光学器件的光的偏振旋转第二角度。

在另一方面，本发明提供了4端口光混合器，4端口光混合器包含非互易性混合器件，双折射楔片混合器，光学耦合在非互易性混合器件和双折射楔片混合器之间的波分复用滤波器。非互易性混合器件具有主方向和逆主方向。非互易性混合器件包含第一双折射楔片，第二双折射楔片和非互易性旋转元件。非互易性旋转元件是一种光学器件，将穿过该光学器件的光的偏振旋转第二角度。波分复用滤波器被光学耦合到第二双折射楔片。非互易性混合器件被构造成至少允许完成以下功能：(1)作为第一输入方向的非寻常光进入第一双折射楔片的光作为主方向的寻常光从第二双折射楔片退出；(2)作为第二输入方向的寻常光进入第一双折射楔片的光作为主方向的非寻常光从第二双折射楔片退出；(3)作为逆主方向的非寻常光进入第二双折射楔片的光作为逆主方向的非寻常光从第一双折射楔片退出；和(4)作为逆主方向的寻常光进入第二双折射楔片的光作为逆主方向的寻常光从第一双折射楔片退出。

在另一方面，本发明提供了根据第一泵浦光、第二泵浦光、第三泵浦光和第四泵浦光产生混合泵浦光的方法。该方法包含提供双折射楔片混合器和具有主方向和逆主方向的非互易性混合器件。该方法包含引导第一泵浦光沿着第一输入方向进入非互易性混合器件，并且作为第一中间泵浦光沿着主方向从非互易性混合器件退出。该方法包含反射第一中间泵浦光以便沿着逆主方向穿过非互易性混合器件，以作为混合泵浦光的第一偏振分量。该方法包含引导第二泵浦光沿着第二输入方向进入非互易性混合器件，并且作为第二中间泵浦光沿着主方向从非互易性混合器件退出。该方法包含反射第二中间泵浦光以便沿



着逆主方向穿过非互易性混合器件，以作为混合泵浦光的第二偏振分量。该方法包含引导第三泵浦光沿着逆主方向进入和退出双折射楔片混合器，以作为第三中间泵浦光。该方法包含引导第三中间泵浦光沿着逆主方向穿过非互易性混合器件，以作为混合泵浦光的第三偏振分量。该方法包含引导第四泵浦光沿着逆主方向进入和退出双折射楔片混合器，以作为第四中间泵浦光。该方法包含引导第四中间泵浦光沿着逆主方向穿过非互易性混合器件，以作为混合泵浦光的第四偏振分量。该方法包含混合第一偏振分量、第二偏振分量、第三偏振分量和第四偏振分量以产生混合泵浦光。

本发明的实现可以包含一或多个以下优点。使用非互易性混合器件的4端口光混合器具有插入损耗较小，尺寸紧凑并且制造成本较低的优点。使用非互易性混合器件的4端口光混合器也可以充当光隔离器。通过所附附图和下面的说明可以理解其它优点。

#### 附图说明

图1图解了由4个偏振光源光学泵浦的EDFA 100。

图2图解了混合来自4个泵浦激光器的泵浦光以产生EDFA 100的混合泵浦光的4端口光混合器 200。

图3a - 3c图解了包含双折射楔片315和双折射楔片317的双折射楔片混合器300的实现。

图4a图解了非互易性混合器件的实现。

图4b图解了图4a的双折射楔片和Faraday旋转片的具体构造。

图4c - 4e图解了图4a的双折射楔片和Faraday旋转片的可选构造。

图5a图解了沿着主方向进入图4a的非互易性混合器件的光的行进路径。

图5b图解了作为主方向的非寻常光进入第一双折射楔片的光作为第一输出方向的寻常光从第二双折射楔片退出的情况。

图5c图解了作为主方向的寻常光进入第一双折射楔片的光作为第二输出方向的非寻常光从第二双折射楔片退出的情况。

图6a图解了沿着第一和第二输入方向进入图4a的非互易性混合

器件的光的行进路径。

图6b图解了作为第一输入方向的非寻常光进入第二双折射楔片的光作为主方向的寻常光从第二双折射楔片退出的情况。

图6c图解了作为第二输入方向的寻常光进入第一双折射楔片的光作为主方向的非寻常光从第二双折射楔片退出的情况。

图7a图解了沿着逆主方向进入图4a的非互易性混合器件的光的行进路径。

图7b图解了作为逆主方向的非寻常光进入第二双折射楔片的光作为逆主方向的非寻常光从第一双折射楔片退出的情况。

图7c图解了作为逆主方向的寻常光进入第二双折射楔片的光作为逆主方向的寻常光从第一双折射楔片退出的情况。

图8图解了4端口光混合器200的实现。

图9a图解了使用系数 $n_e$ 大于 $n_o$ 的双折射晶体材料构造的双折射楔片混合器300的实现。

图9b图解了使用系数 $n_e$ 小于 $n_o$ 的双折射晶体材料构造的双折射楔片混合器300的实现。

图10a图解了使用系数 $n_e$ 大于 $n_o$ 的双折射晶体材料构造的非互易性混合器件400的实现。

图10b图解了使用系数 $n_e$ 小于 $n_o$ 的双折射晶体材料构造的非互易性混合器件400的实现。

#### 具体实施方式

本发明涉及光学技术的改进。提供以下说明以允许本领域的普通技术人员理解和应用本发明，并且在专利申请及其要求的语境中提供以下说明。本领域的技术人员可以容易地理解本发明的各种修改，这里的总体构思也适用于其它实施例。于是，本发明不限于示出的实施例，而是可用于符合这里描述的构思和特征的最广范围。

下面根据具有具体部件(具有具体构造)的4端口混合器描述本发明。类似地，根据具有具体关系，例如部件之间的距离或角度的部件来描述本发明。然而本领域的普通技术人员可以理解，所描述的器件

和系统可以包含其它部件，这些其它部件具有类似性质、其它构造、以及之间的其它关系。

图2图解了混合来自4个泵浦激光器的泵浦光以产生EDFA 100的混合泵浦光的4端口光混合器200。4端口光混合器200包含2个接收具有第一波长 $\lambda_1$ 的泵浦光P1和P2的端口210和220，2个接收具有第二波长 $\lambda_2$ 的泵浦光P3和P4的端口230和240，和一个产生混合泵浦光P0的端口290。混合泵浦光P0通过WDM耦合器160被耦合到EDFA 100。输入光学信号Si被光学耦合到EDFA 100，并且沿着与泵浦光P0的行进方向相反的方向行进。输入光学信号Si在EDFA 100中得到放大，穿过WDM耦合器160和隔离器170，并且变成输出光So。

本发明的实现提供包含双折射楔片混合器和非互易性混合器件的4端口光混合器。下面更详细地描述双折射楔片混合器和非互易性混合器件的构造和操作。非互易性混合器件通常包含2个双折射楔片。双折射楔片混合器通常包含2个双折射楔片和诸如Faraday旋转片的非互易性旋转元件。

图3a - 3c图解了包含双折射楔片315和双折射楔片317的双折射楔片混合器300的实现。双折射楔片315和317具有锥形板的形式。双折射楔片315的表面311面对双折射楔片317的表面312。在双折射楔片混合器300的一个实现中，双折射楔片315的表面311与双折射楔片317的表面312基本平行。

图解的坐标系包含x方向、y方向和z方向。双折射楔片315的光轴基本上垂直于双折射楔片317的光轴。在一个实现中，双折射楔片315的光轴处于x方向，而双折射楔片317的光轴处于y方向。在可选实现中，双折射楔片315的光轴可以处于 $\cos(\varphi)x + \sin(\varphi)y$ 方向，双折射楔片317的光轴可以处于 $\cos(\varphi+90)x + \sin(\varphi+90)y$ 方向，其中 $\varphi$ 是任何角度。

通常，双折射楔片混合器300被构造成将第一和第二偏振光混合成混合光。

如图3a和3b所示，具有y偏振的光320(e)沿着 $-\cos(\theta_e)z - \sin(\theta_e)y$ 方向作为非寻常光入射在表面312上。这里 $\theta_e$ 是正角度。光320(e)在表面

312和311上折射，并且作为寻常光321(o)沿着负z方向进入双折射楔片315。

如图3a和3c所示，具有x偏振的光310(o)沿着 $-\cos(\theta_0)z + \sin(\theta_0)y$ 方向作为寻常光入射在表面312上。这里 $\theta_0$ 是正角度。光310(o)在表面312和311上折射，并且作为非寻常光311(e)沿着负z方向以x偏振进入双折射楔片315。

图4a和4b图解了非互易性混合器件400的实现，非互易性混合器件400包含双折射楔片15、双折射楔片17和诸如Faraday旋转片16的非互易性旋转元件。双折射楔片15和17具有锥形板的形式。双折射楔片15的表面11面对双折射楔片17的表面12。在非互易性混合器件400的一个实现中，双折射楔片15的表面11与双折射楔片17的表面12基本并行。

图解的坐标系统包含x方向、y方向和z方向。双折射楔片15的光轴处于x方向。双折射楔片17的光轴处于x-y方向。Faraday旋转片16的设计使得，当光沿着正或负z方向穿过Faraday旋转片16时，光的偏振相对正z轴基本旋转45度。非互易性混合器件400具有沿着正z方向的主方向和沿着负z方向的逆主方向。非互易性混合器件400还具有沿着 $z - \alpha y$ 方向的第一输入方向，沿着 $z + \beta y$ 方向的第二输入方向，沿着 $z + \gamma y$ 方向的第一输出方向和沿着 $z - \beta y$ 方向的第二输出方向。其中 $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $\gamma$ 和 $\delta$ 是正数。

通常，非互易性混合器件400包含第一和第二双折射楔片，并且被构造成执行以下6个功能中的一或多个功能：

(1)作为主方向的非寻常光进入第一双折射楔片的光作为第一输出方向的寻常光从第二双折射楔片退出；

(2)作为主方向的寻常光进入第一双折射楔片的光作为第二输出方向的非寻常光从第二双折射楔片退出；

(3)作为第一输入方向的非寻常光进入第二双折射楔片的光作为主方向的寻常光从第二双折射楔片退出；

(4)作为第二输入方向的寻常光进入第一双折射楔片的光作为主方向的非寻常光从第二双折射楔片退出；

(5)作为逆主方向的非寻常光进入第二双折射楔片的光作为逆主方向的非寻常光从第一双折射楔片退出；和

(6)作为逆主方向的寻常光进入第二双折射楔片的光作为逆主方向的寻常光从第一双折射楔片退出。

图5a和5b详细图解了第一功能。图5a和5c详细图解了第二功能。图6a和6b详细图解了第三功能。图6a和6c详细图解了第四功能。图7a和7b详细图解了第五功能。图7a和7c详细图解了第六功能。

如图5a和5b所示，沿着主方向(即正 $z$ 方向)行进的光520(e)作为具有 $x$ 偏振的非寻常光进入双折射楔片15。光520(e)在表面11上折射。在穿过Faraday旋转片16之后，光520(e)的偏振相对正 $z$ 轴基本旋转正45度，并且光520(e)变成具有 $x+y$ 偏振的光521(o)。光521(o)再次在表面12上折射，并且作为寻常光进入双折射楔片17。光521(o)从双折射楔片17退出，通常沿着第一输出方向(即  $z+y$  方向)行进。

如图5a和5c所示，沿着主方向(即正 $z$ 方向)行进的光510(o)作为具有 $y$ 偏振的寻常光进入双折射楔片15。光510(o)在表面11上折射。在穿过Faraday旋转片16之后，光510(o)的偏振相对正 $z$ 轴基本旋转正45度，并且光510(o)变成具有 $x-y$ 偏振的光511(e)。光511(e)再次在表面12上折射，并且作为非寻常光进入双折射楔片17。光511(e)从双折射楔片17退出，通常沿着第二输出方向(即  $z-\delta y$  方向)行进。

如图6a和6b所示，沿着第一输入方向(即  $z - \alpha y$  方向)行进的光620(e)作为具有 $x$ 偏振的非寻常光进入双折射楔片15。光620(e)在表面11上折射。在穿过Faraday旋转片16之后，光620(e)的偏振相对正 $z$ 轴基本旋转正45度，并且光620(e)变成具有 $x+y$ 偏振的光621(o)。光621(o)再次在表面12上折射，并且作为寻常光进入双折射楔片17。光621(o)从双折射楔片17退出，通常沿着主方向(即正 $z$ 方向)行进。

如图6a和6c所示，沿着第二输入方向(即  $z + \beta y$  方向)行进的光610(o)作为具有 $y$ 偏振的寻常光进入双折射楔片15。光610(o)在表面11上折射。在穿过Faraday旋转片16之后，光610(o)的偏振相对正 $z$ 轴基本旋转正45度，并且光610(o)变成具有 $x-y$ 偏振的光611(e)。光611(e)再

次在表面12上折射，并且作为非寻常光进入双折射楔片17。光611(e)从双折射楔片17退出，通常沿着主方向(即正z方向)行进。

如图7a和7b所示，沿着逆主方向(即负z方向)行进的光720(e)作为具有x-y偏振的非寻常光进入双折射楔片17。光720(e)在表面12上折射。在穿过Faraday旋转片16之后，光720(e)的偏振相对正z轴基本旋转正45度，并且光720(e)变成具有x偏振的光721(e)。光721(e)再次在表面11上折射，并且作为非寻常光进入双折射楔片15。光721(e)从双折射楔片15退出，沿着逆主方向(即负z方向)行进。

如图7a和7c所示，沿着逆主方向(即负z方向)行进的光710(o)作为具有x+y偏振的寻常光进入双折射楔片17。光710(o)在表面12上折射。在穿过Faraday旋转片16之后，光710(o)的偏振相对正z轴基本旋转正45度，并且光710(o)变成具有y偏振的光711(o)。光710(o)再次在表面11上折射，并且作为寻常光进入双折射楔片15。光711(o)从双折射楔片15退出，沿着逆主方向(即负z方向)行进。

由于寻常光和非寻常光之间折射系数的差别，光721(e)和711(o)可以按照不同的路径从双折射楔片15退出。然而当721(e)和711(o)的路径基本并行时，可以使用准直仪将光721(e)和711(o)耦合到单个光纤。

图8图解了4端口光混合器200的实现。4端口光混合器200包含双折射楔片混合器300和非互易性混合器件400，WDM滤波器830，透镜820和透镜840。WDM滤波器830被光学耦合在双折射楔片混合器300和非互易性混合器件400之间。单模光纤809、PM光纤801和PM光纤802被光学耦合到透镜820。可以通过毛细管810固定单模光纤809和PM光纤801、802的位置。PM光纤803和PM光纤804被光学耦合到透镜840。可以通过毛细管850固定PM光纤803和PM光纤804的位置。

WDM滤波器830被设计成能够执行以下功能：(1)当从非互易性混合器件400退出的第一波长 $\lambda_1$ 的泵浦光入射到WDM滤波器830时，第一波长 $\lambda_1$ 的泵浦光会被反射回到非互易性混合器件400；(2)当从双折射楔片混合器300退出的第二波长 $\lambda_2$ 的泵浦光入射到WDM滤波器830时，第二波长 $\lambda_2$ 的泵浦光会穿过WDM滤波器830并进入非互易性混合

器件400。

在一个实现中，WDM滤波器830反射具有第一波长 $\lambda_1$ 的泵浦光并且透射具有第二波长 $\lambda_2$ 的泵浦光。对于掺铒光纤放大器，光学信号可以具有1550nm的波长，泵浦光可以具有980nm左右的波长或1480nm左右的波长。WDM滤波器900可以被设计成反射980nm左右的泵浦光并透射1480nm左右的泵浦光。WDM滤波器900也可以被设计成反射1480nm左右的泵浦光并透射980nm左右的泵浦光。

图8图解了具有第一波长 $\lambda_1$ 的偏振泵浦光P1进入端口210并且从端口290退出以作为混合泵浦光P0的第一偏振分量P1'的情况。具有第一波长 $\lambda_1$ 的偏振泵浦光P2进入端口220并且从端口290退出以作为混合泵浦光P0的第二偏振分量P2'。具有第二波长 $\lambda_2$ 的偏振泵浦光P3进入端口230并且从端口290退出以作为混合泵浦光P0的第三偏振分量P3'。具有第二波长 $\lambda_2$ 的偏振泵浦光P4进入端口240并且从端口290退出以作为混合泵浦光P0的第四偏振分量P4'。下面更详细地描述泵浦光P1、P2、P3和P4的行进光路。

从PM光纤801退出的偏振泵浦光P1通过透镜820被耦合到非互易性混合器件400，并且沿着第一输入方向(即 $z-\alpha$  y方向)作为非寻常光620(e)进入非互易性混合器件400。在穿过非互易性混合器件400之后，非寻常光620(e)变成沿着主方向(即正z方向)行进的寻常光621(o)。在被WDM滤波器830反射之后，寻常光621(o)沿着逆主方向(即负z方向)穿过非互易性混合器件400，并且通过透镜820进入单模光纤809以作为混合泵浦光P0的第一偏振分量P1'。

从PM光纤802退出的偏振泵浦光P2通过透镜820被耦合到非互易性混合器件400，并且沿着第二输入方向(即 $z+\beta$  y方向)作为寻常光610(o)进入非互易性混合器件400。在穿过非互易性混合器件400之后，寻常光610(o)变成沿着主方向(即正z方向)行进的非常寻常光611(e)。在被WDM滤波器830反射之后，非常寻常光611(e)沿着逆主方向穿过非互易性混合器件400，并且通过透镜820进入单模光纤809以作为混合泵浦光P0的第二偏振分量P2'。

从PM光纤803退出的偏振泵浦光P3通过透镜840被耦合到双折射楔片混合器300,并且作为光320(e)进入双折射楔片混合器300。在穿过双折射楔片混合器300之后,非寻常光320(e)变成沿着逆主方向(即负z方向)行进的寻常光321(o)。寻常光321(o)沿着逆主方向穿过非互易性混合器件400,并且通过透镜820进入单模光纤809以作为混合泵浦光P0的第三偏振分量P3'。

从PM光纤804退出的偏振泵浦光P4通过透镜840被耦合到双折射楔片混合器300,并且作为光310(o)进入双折射楔片混合器300。在穿过双折射楔片混合器300之后,寻常光310(o)变成沿着逆主方向(即负z方向)行进的非常光311(e)。非常光311(e)沿着逆主方向穿过非互易性混合器件400,并且通过透镜820进入单模光纤809以作为混合泵浦光P0的第四偏振分量P4'。

4端口光混合器200也具有内置隔离功能。进入端口290的光沿着主方向进入非互易性混合器件400,以作为非常光或寻常光。作为主方向的非常光进入非互易性混合器件400的光作为第一输出方向的寻常光从非互易性混合器件400退出。作为主方向的寻常光进入非互易性混合器件400的光作为第二输出方向的非常光从非互易性混合器件400退出。

在图4b示出的非互易性混合器件400的实现中,双折射楔片15和17的光轴分别在X方向和x-y方向上。在这种构造中,Faraday旋转片16的设计使得穿过Faraday旋转片16的光的偏振相对正z轴被旋转正45度。

在图4c示出的非互易性混合器件400的另一个实现中,双折射楔片15和17的光轴分别在x方向和x+y方向上。在这种构造中,Faraday旋转片16的设计使得穿过Faraday旋转片16的光的偏振相对正z轴被旋转负45度。

在图4d示出的非互易性混合器件400的第三个实现中,双折射楔片15和17的光轴分别在y方向和x+y方向上。在这种构造中,Faraday旋转片16的设计使得穿过Faraday旋转片16的光的偏振相对正z轴被旋



转正45度。

在图4e示出的非互易性混合器件400的第四个实现中，双折射楔片15和17的光轴分别在 $\cos(\varphi)x + \sin(\varphi)y$ 方向和 $\cos(\varphi - 45)x + \sin(\varphi - 45)y$ 方向上。在这种构造中，Faraday旋转片16的设计使得穿过Faraday旋转片16的光的偏振相对正z轴被旋转正45度。

在图4a的非互易性混合器件400的实现中，双折射楔片15和17与Faraday旋转片16基本上接触。在其它实现中，其它光学介质(包含空气)可以被插入在双折射楔片15和Faraday旋转片16之间，以及双折射楔片17和Faraday旋转片16之间。

通常，双折射楔片15、17、315和317可以由诸如方解石、金红石和铈酸锂或钒酸钇(yttrium orthvanadate)的双折射晶体材料构成。

双折射晶体材料通常具有非寻常光折射系数 $n_e$ 和寻常光折射系数 $n_o$ 。可以使用系数 $n_e$ 大于 $n_o$ 的双折射晶体材料或系数 $n_e$ 小于 $n_o$ 的双折射晶体材料构造双折射楔片混合器300和非互易性混合器件400。

图9a和9b图解了包含锥形板形式的双折射楔片315和317的双折射楔片混合器300的实现。双折射楔片315的表面311与双折射楔片317的表面312基本平行。双折射楔片315和317的锥化角度为 $\chi$ 。

图9a图解了使用系数 $n_e$ 大于 $n_o$ 的双折射晶体材料构造的双折射楔片混合器300的实现。图9a也图解了非寻常光320(e)和寻常光310(o)的行进路径。非寻常光320(e)沿着 $-\cos(\theta_e)z - \sin(\theta_e)y$ 方向入射在双折射楔片317的表面312上，并且沿着负z方向从双折射楔片315退出。这里 $\theta_e$ 满足等式 $n_e \sin(\chi - \theta_e) = n_o \sin(\chi)$ 。寻常光310(o)沿着 $-\cos(\theta_o)z + \sin(\theta_o)y$ 方向入射在双折射楔片317的表面312上，并且沿着负z方向从双折射楔片315退出。这里 $\theta_o$ 满足等式 $n_o \sin(\chi + \theta_o) = n_e \sin(\chi)$ 。

图9b图解了使用系数 $n_e$ 小于 $n_o$ 的双折射晶体材料构造的双折射楔片混合器300的实现。图9b也图解了非寻常光320(e)和寻常光310(o)的行进路径。非寻常光320(e)沿着 $-\cos(\theta_e)z - \sin(\theta_e)y$ 方向入射在双折射楔片317的表面312上，并且沿着负z方向从双折射楔片315退出。这里 $\theta_e$ 满足等式 $n_e \sin(\chi + \theta_e) = n_o \sin(\chi)$ 。寻常光310(o)沿着 $-\cos(\theta_o)z +$

$\sin(\theta_o)$  y方向入射在双折射楔片317的表面312上, 并且沿着负z方向从双折射楔片315退出。这里 $\theta_o$ 满足等式 $n_o \sin(\chi - \theta_o) = n_e \sin(\chi)$ 。

图10a和10b图解了包含锥形板形式的双折射楔片15和17的非互易性混合器件400的实现。双折射楔片15的表面11与双折射楔片17的表面12基本并行。双折射楔片15和17的锥化角度为 $\chi$ 。

图10a图解了使用系数 $n_e$ 大于 $n_o$ 的双折射晶体材料构造的非互易性混合器件400的实现。图10a也图解了非寻常光620(e)和寻常光610(o)的行进路径。非寻常光620(e)沿着  $\cos(\theta_e)z - \sin(\theta_e)y$ 方向入射在双折射楔片15的表面11上, 并且沿着正z方向从双折射楔片17退出。这里 $\theta_e$ 满足等式 $n_e \sin(\chi - \theta_e) = n_o \sin(\chi)$ 。寻常光610(o)沿着  $\cos(\theta_o)z + \sin(\theta_o)y$ 方向入射在双折射楔片15的表面11上, 并且沿着正z方向从双折射楔片17退出。这里 $\theta_o$ 满足等式 $n_o \sin(\chi + \theta_o) = n_e \sin(\chi)$ 。

图10b图解了使用系数 $n_e$ 小于 $n_o$ 的双折射晶体材料构造的非互易性混合器件400的实现。图10b也图解了非寻常光620(e)和寻常光610(o)的行进路径。非寻常光620(e)沿着  $\cos(\theta_e)z - \sin(\theta_e)y$ 方向入射在双折射楔片15的表面11上, 并且沿着正z方向从双折射楔片17退出。这里 $\theta_e$ 满足等式 $n_e \sin(\chi + \theta_e) = n_o \sin(\chi)$ 。寻常光610(o)沿着  $\cos(\theta_o)z + \sin(\theta_o)y$ 方向入射在双折射楔片15的表面11上, 并且沿着正z方向从双折射楔片17退出。这里 $\theta_o$ 满足等式 $n_o \sin(\chi - \theta_o) = n_e \sin(\chi)$ 。

前面公开了提供集成有2个泵浦混合器的方法和系统。虽然根据示出的实施例描述了本发明, 然而本领域的普通技术人员会容易地理解, 这些实施例可以有各种变化, 并且那些变化在本发明的宗旨和范围内。因此, 在不偏离如所附权利要求书定义的宗旨或范围的前提下, 本领域的普通技术人员可以进行许多修改。

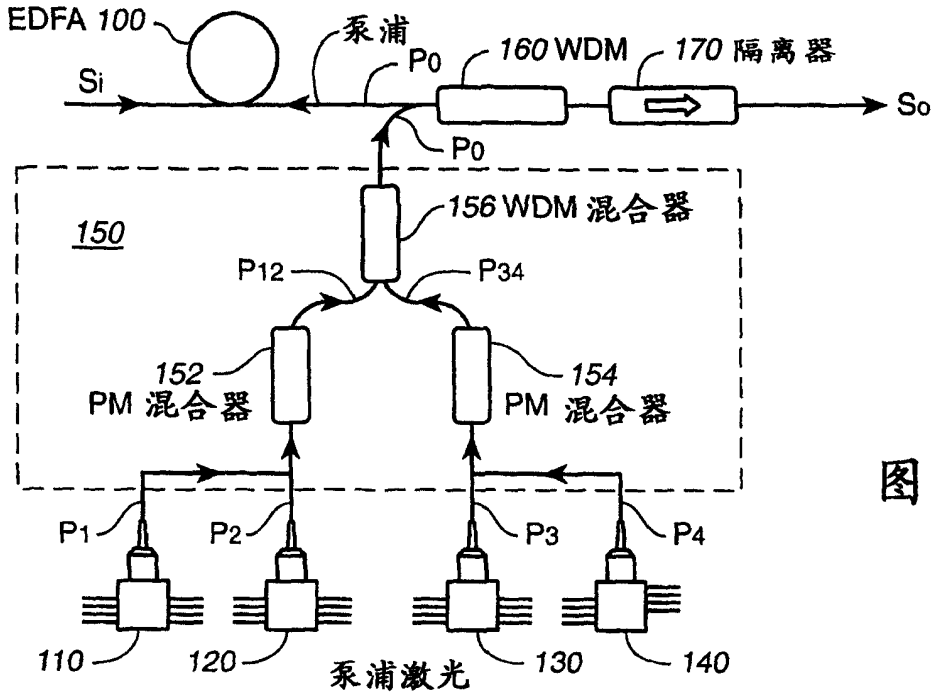


图 1

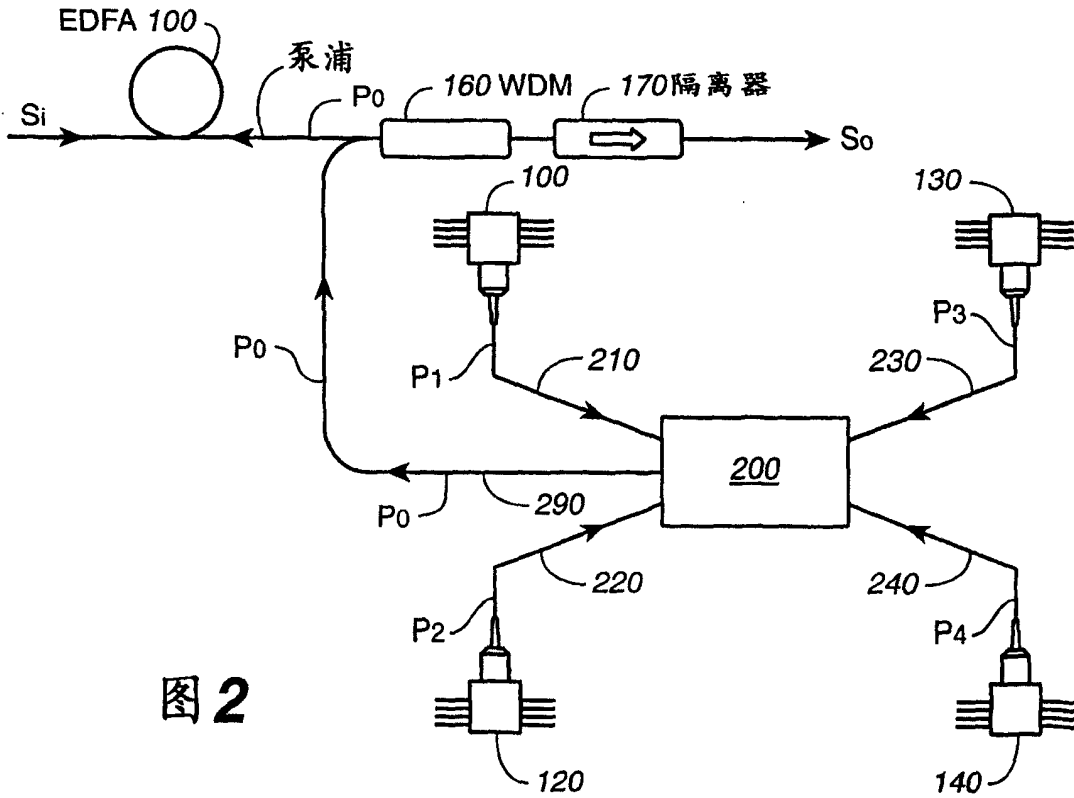


图 2

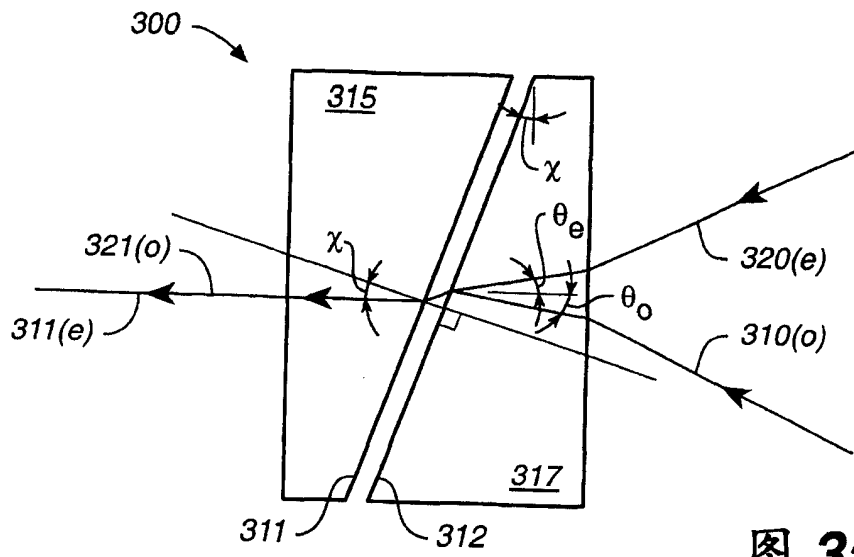


图 3a

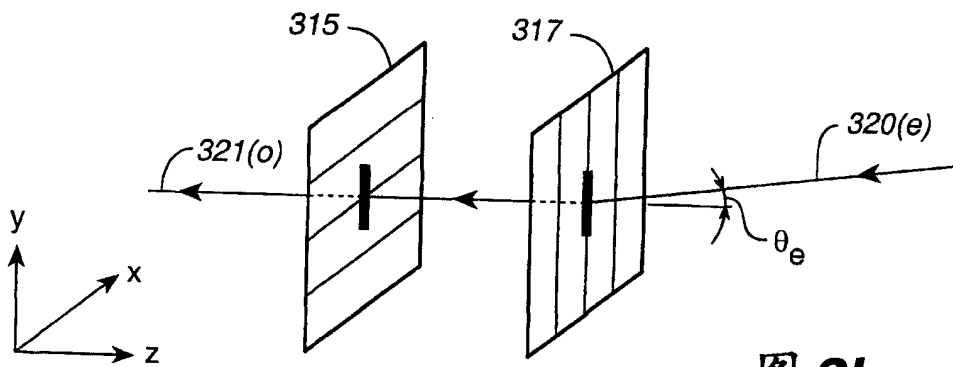


图 3b

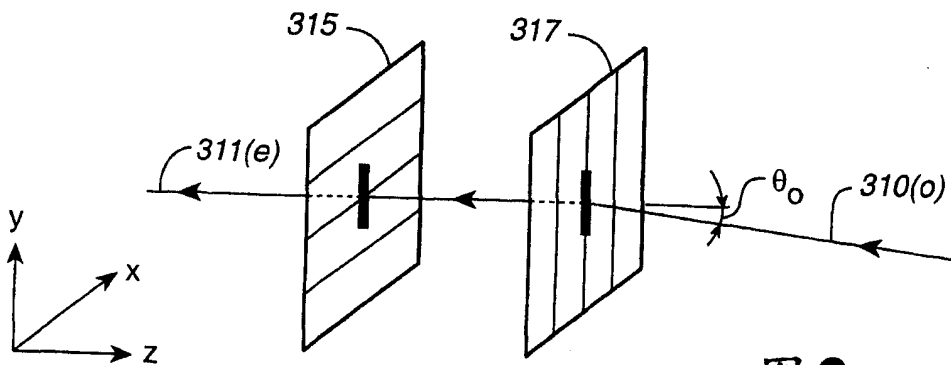


图 3c

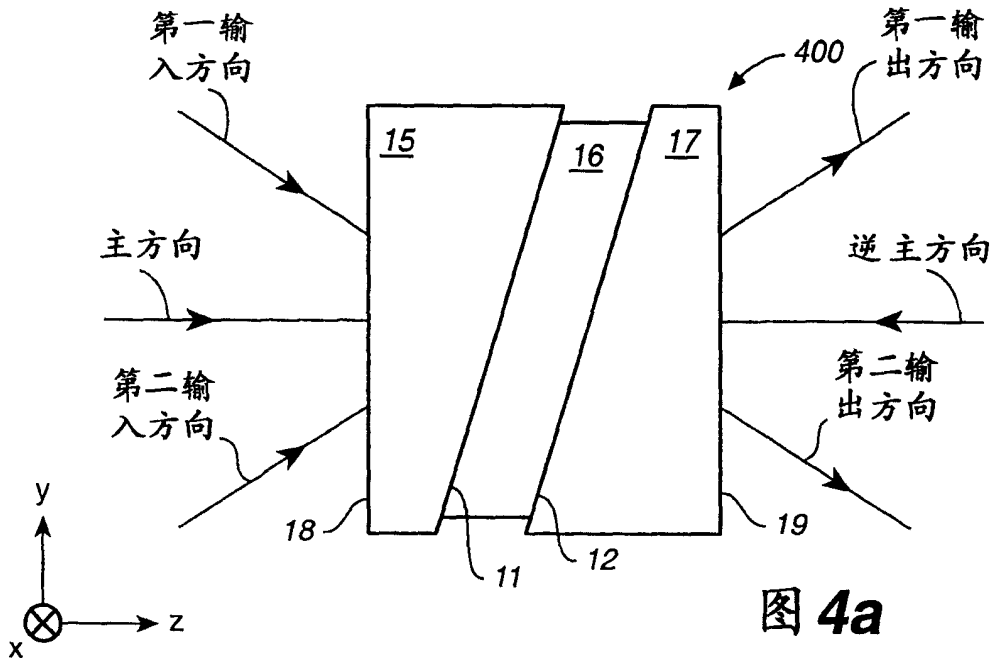


图 4a

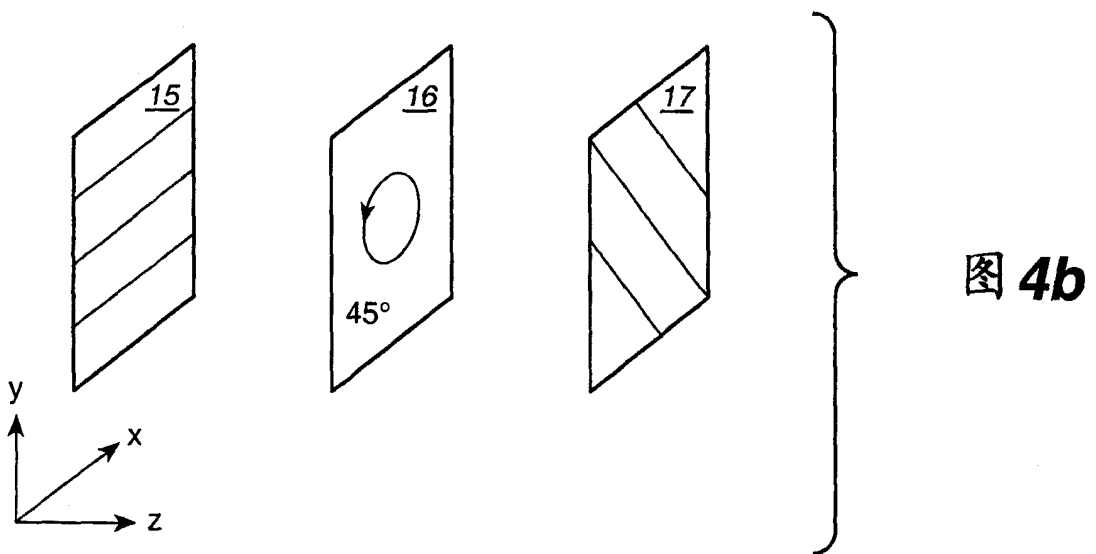


图 4b

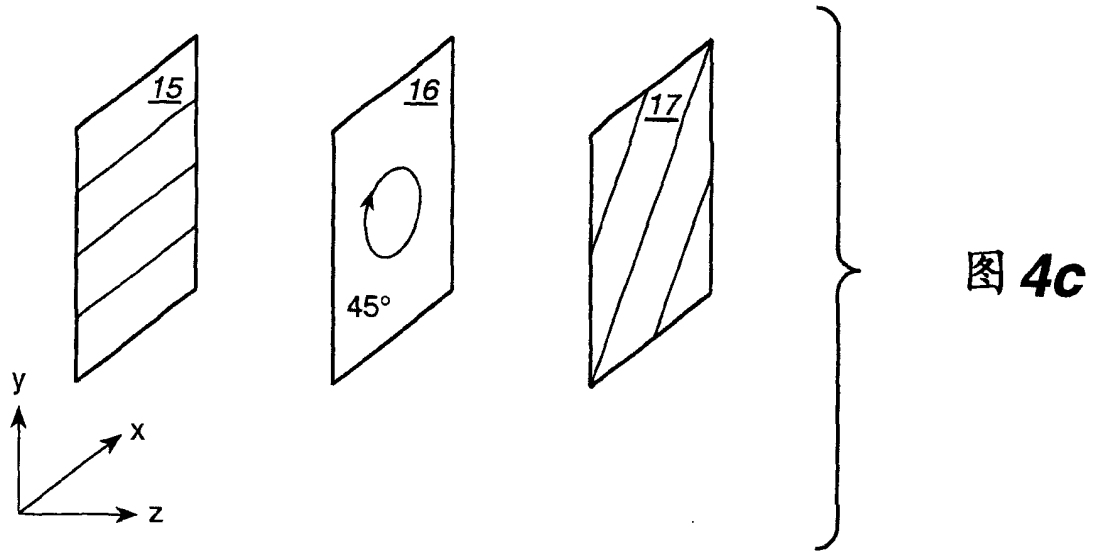


图 4c

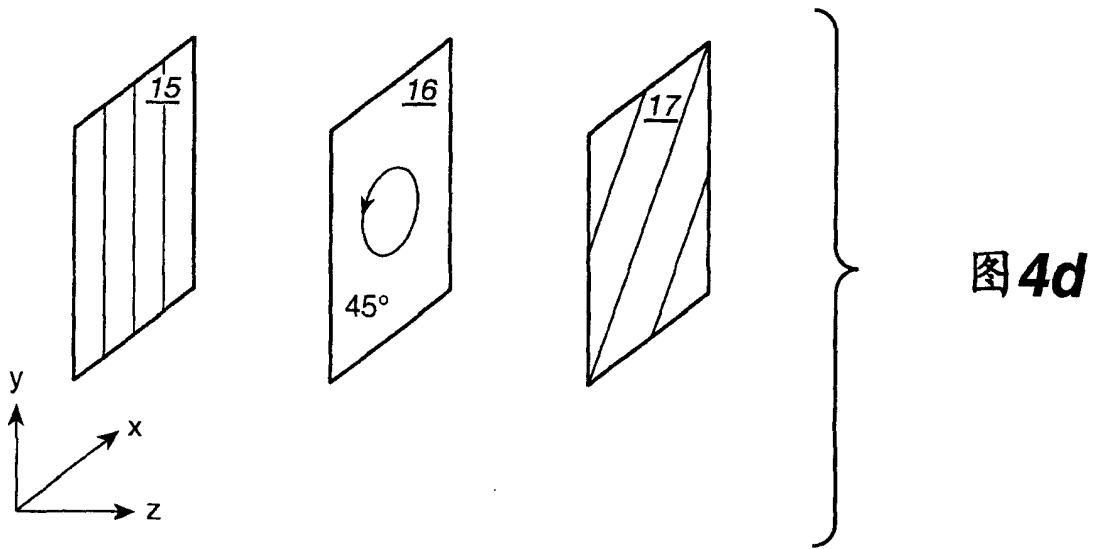


图 4d

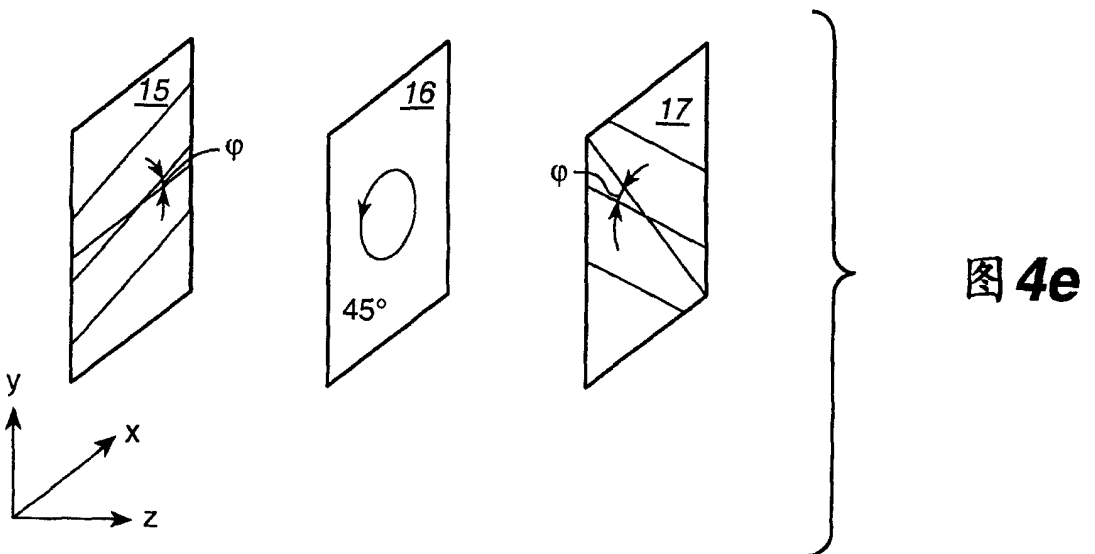
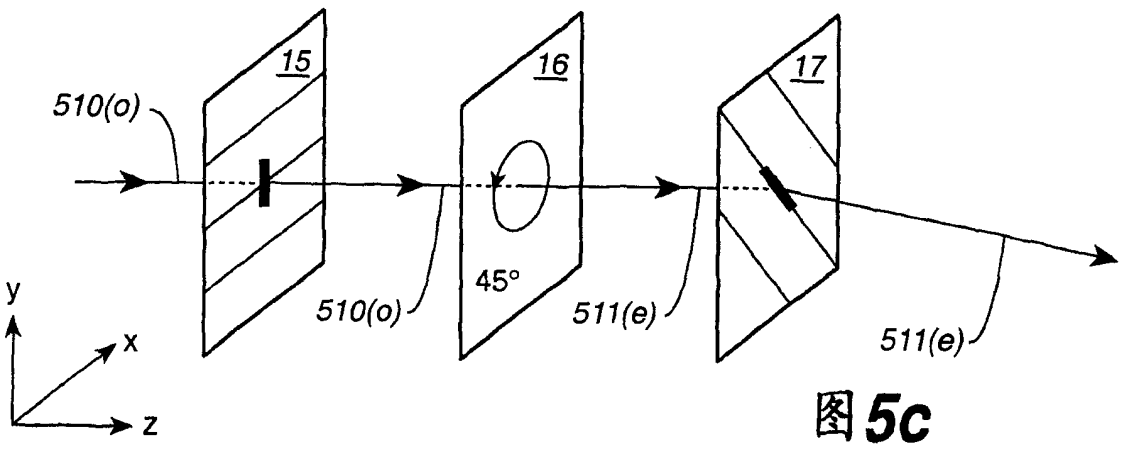
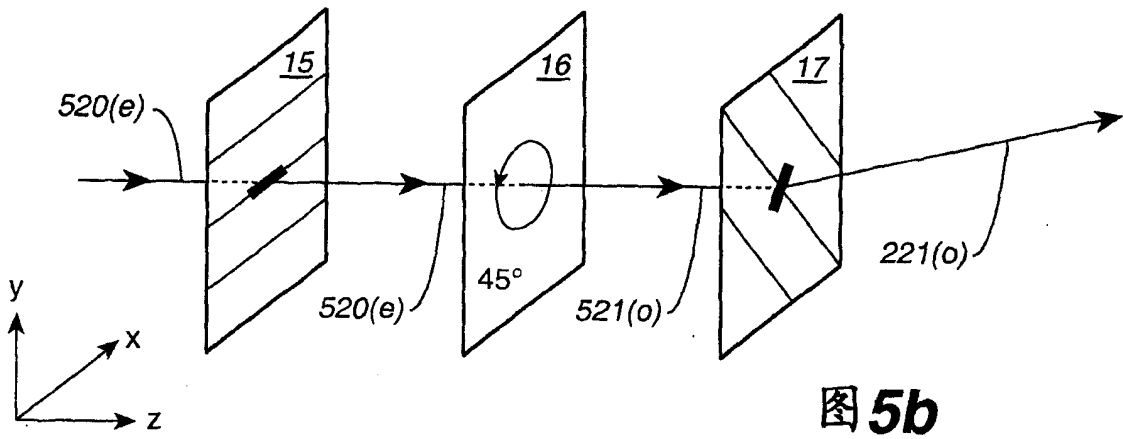
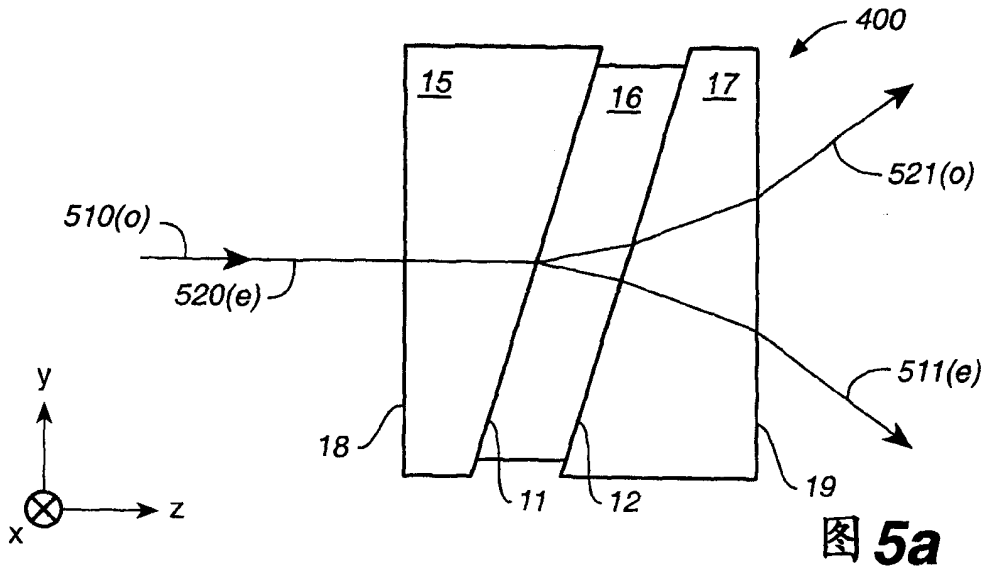
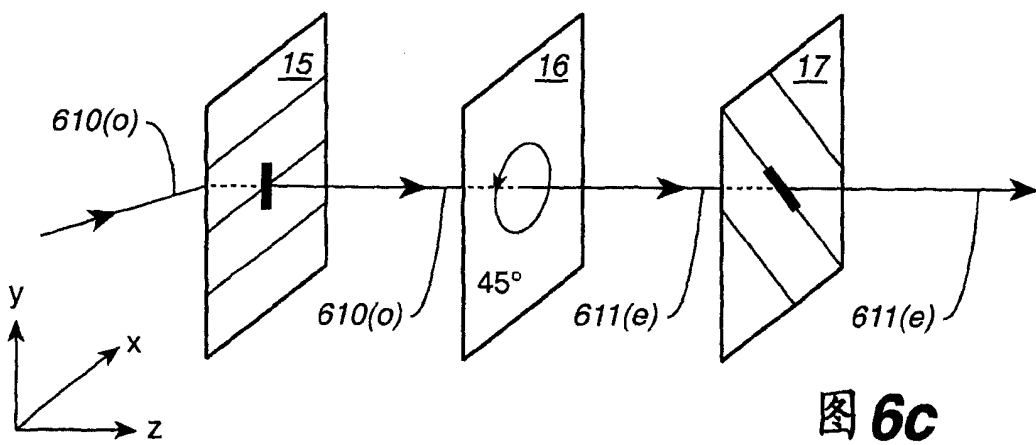
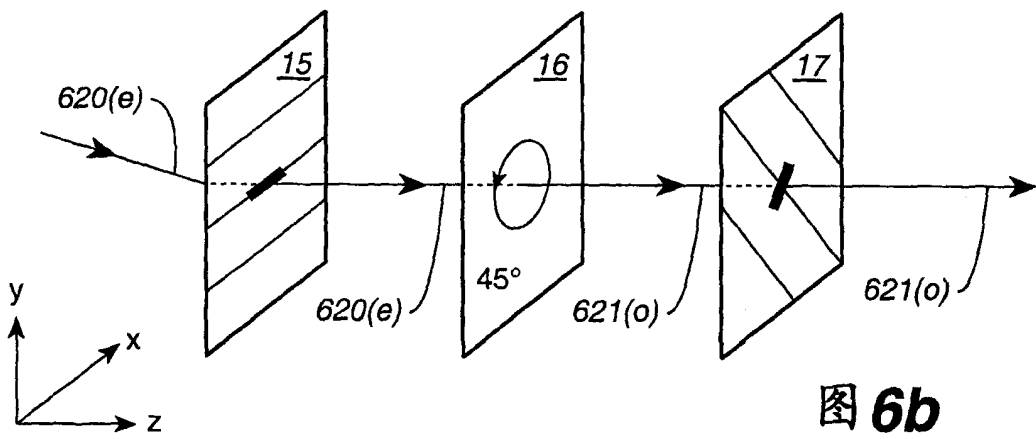
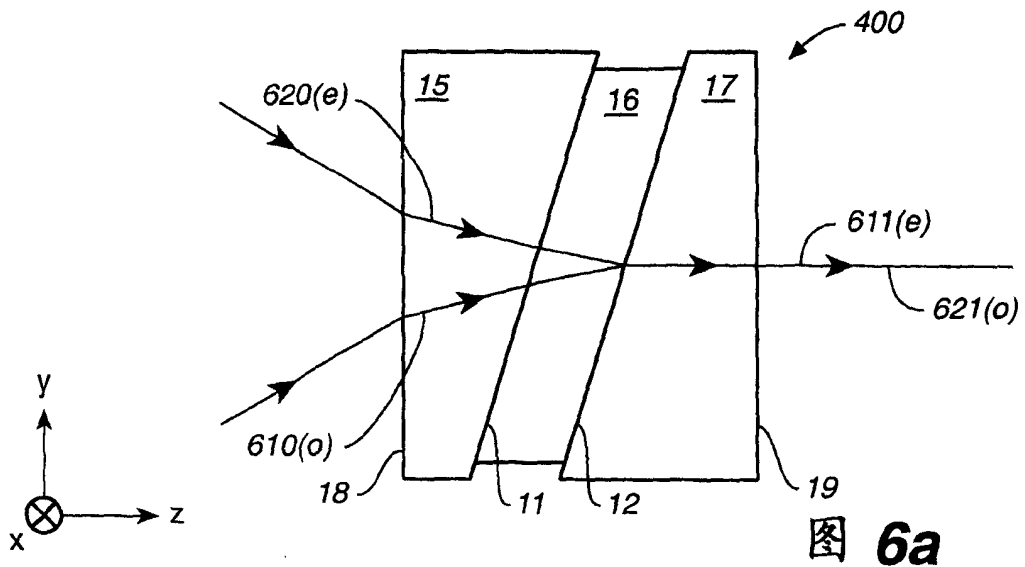


图 4e







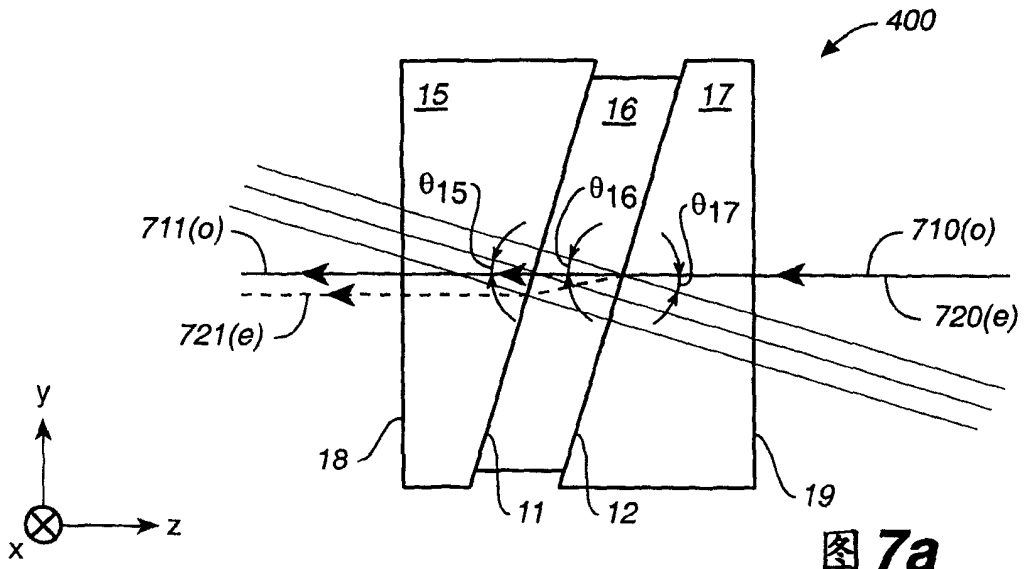


图 7a

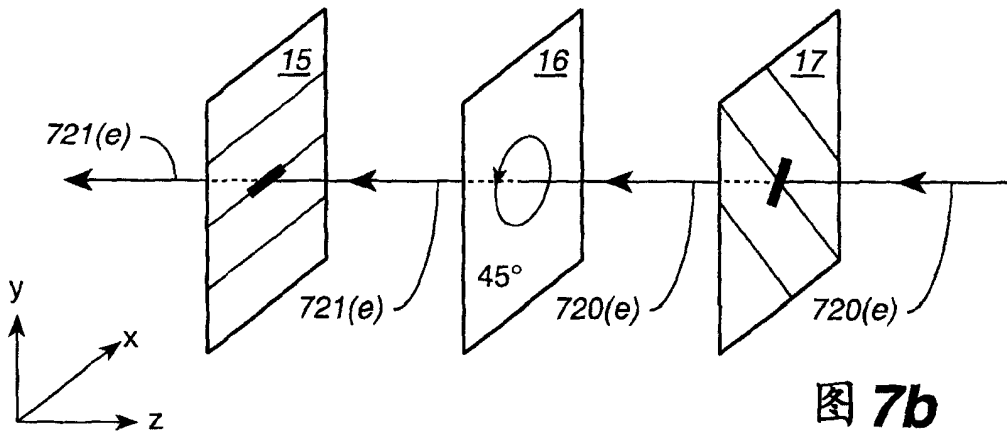


图 7b

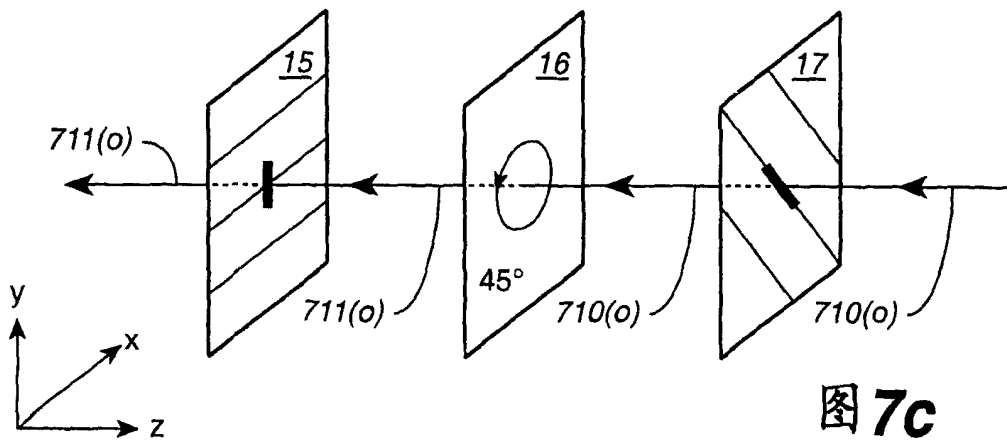


图 7c

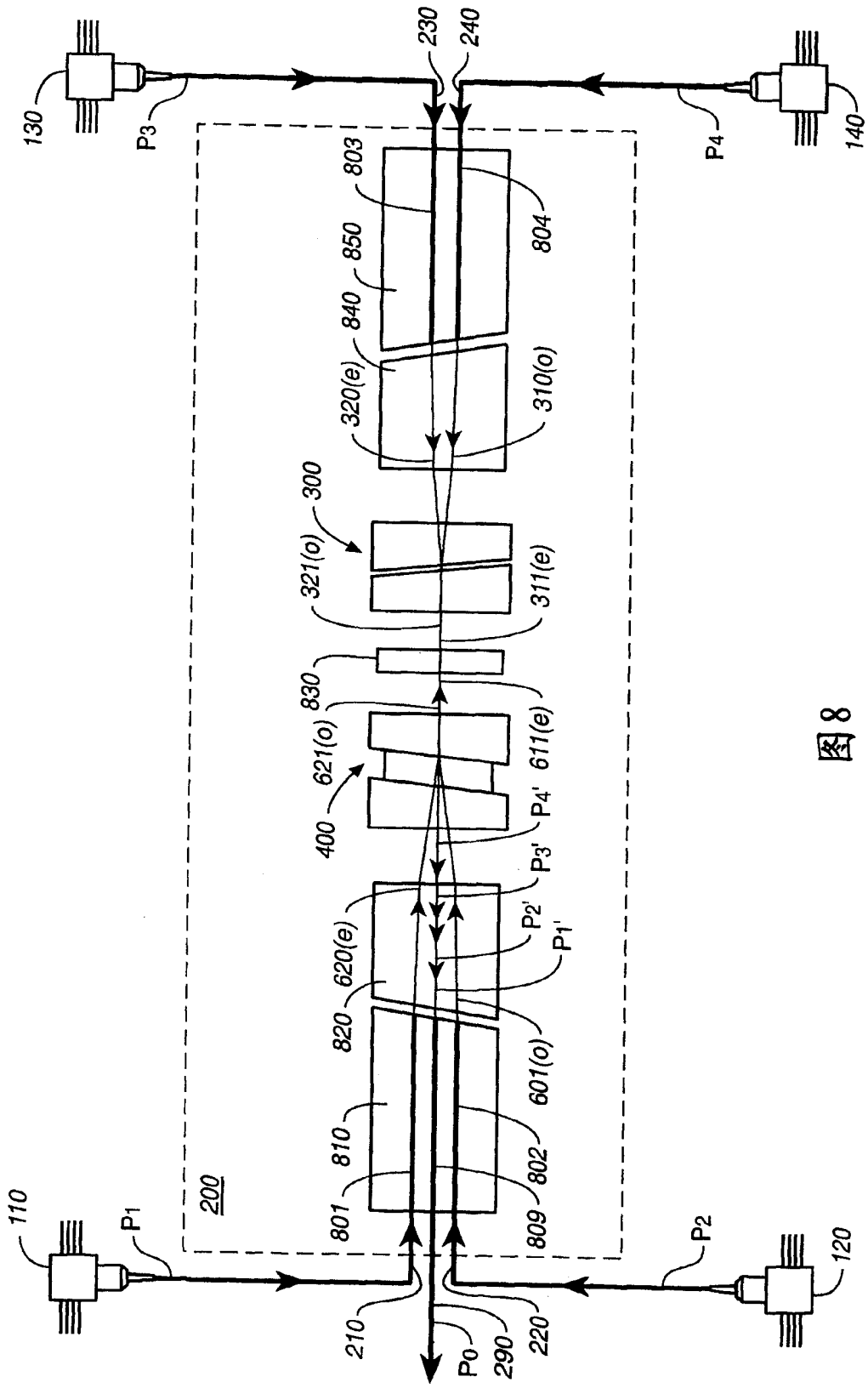


图 8

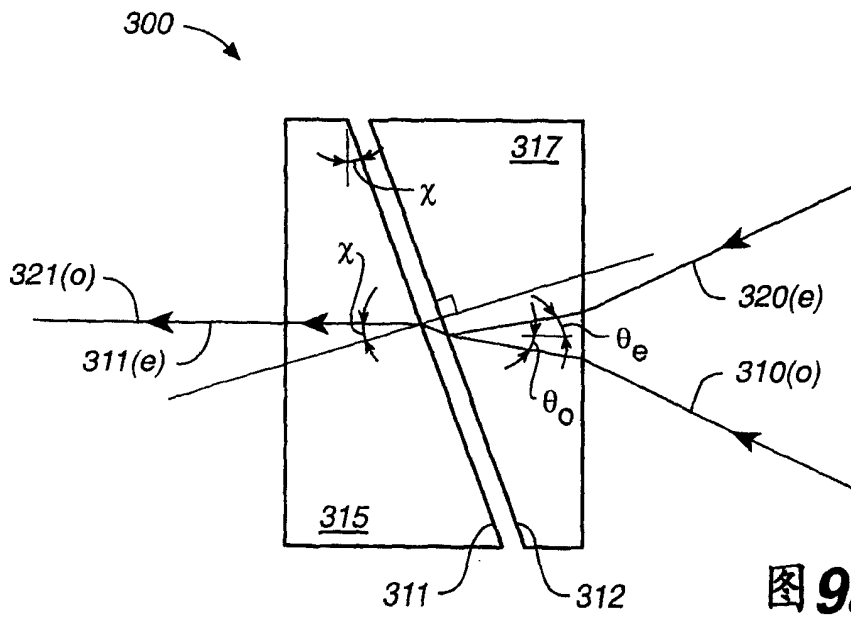


图 9a

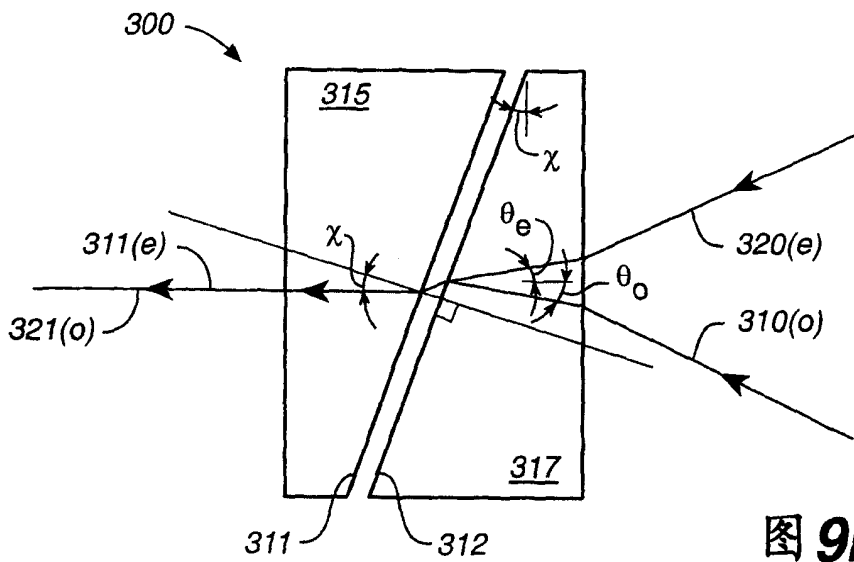


图 9b

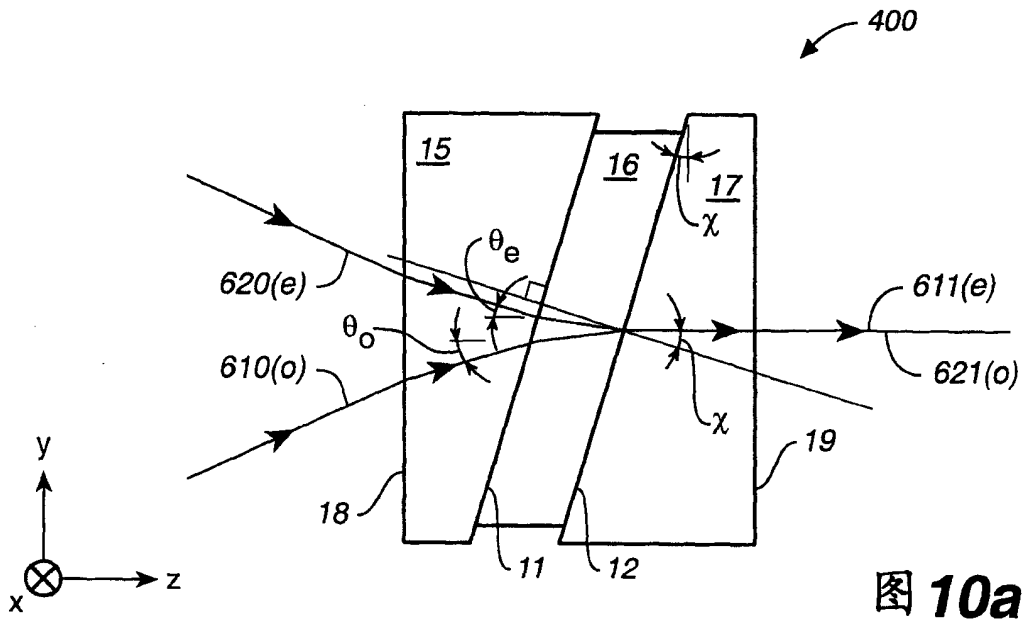


图 10a

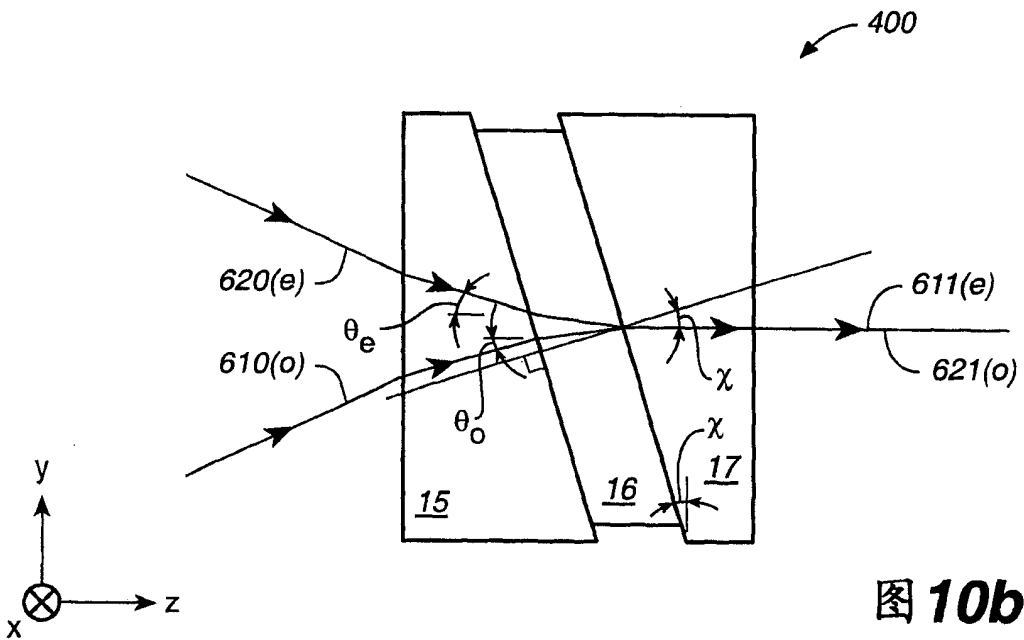


图 10b